日大生産工(院) O宮 靖淇 日大生産工(院) 今関 幹 日大生産工(学部)末竹 泰土 日大生産工 永井 香織 日大生産工 柴山 均

1. はじめに

エレクトロニクスの発展とともに、レーザ による加工技術も大きな発展を遂げてきた。 特に近年ではファイバーレーザの実用化によ り、1000 W以上のレーザ照射が可能となった。 ファイバーレーザは、ビームプロファイルが きれいなガウシアン型であり、レーザ照射後 の対象物へ与えたエネルギーなどを予測しや すい。また、ビーム形状はガウス光学を基本 とするため容易に変えることができる。さら に、光ファイバーを用いているため照射位置 をフレキシブルに変えることができる利点が ある。

建築分野においてもレーザは計測分野で利 用されているが、コンクリートの切断やはく りなどへの応用は研究段階である。その理由 としては、コンクリートの強度発現のために SiO2を含む骨材が配合されているため、それ らの成分は、1000度以上で溶解し、ガラス化 してしまいレーザ加工を効率的に行うことが できない。

本研究は、様々な建築材料へのレーザ照射 時の散乱光の強度変化を指標に、ガラス化転 移の特徴的な強度変化を観測し、各種建築材 料のレーザ加工による、表面現象との関係を 把握することを目的として実施している。

本報告は散乱光を用いた各種石材の表面現 象の変化の把握の可能性について検討した結 果について述べる。

2. 供試体

本実験では現象把握として、コンクリート の製作でよく使われている含有成分の異なる3 つの石材を使用した。石材は花崗岩、石灰岩、 砂岩とし、それぞれの含有成分は表1に示す 通りである。

表1 使用した石材の成分

含有成分						
Material	AI	Si	K	Ca	Fe	
花崗岩	10.121	71.715	13.713	2.184	1.336	
石灰岩	0	0	0	99.719	0.065	
砂岩	5.974	78.507	13.446	0	0.566	



石灰岩 花崗岩 砂岩



写真2 実験装置の写真

表1 使用した石材の成分

Mode	Power(W)	DFS(mm)	Time(S)	Material
CW			1~10	花崗岩
	500	100		石灰岩
				砂岩
	1000			砂岩



Fundamental study on the evaluation of changes in physical properties due to scattered light from lasers Kyu Seiki Imazeki Motoki Suetake Taito Nagai Kaori Shibayama Hitoshi 表 3 照射後各石材表面



3. 照射条件および実験方法

3.1 照射条件

本実験で使用したレーザ発振器を写真2に、 レーザの照射条件を表2に示す。本実験で使 用したレーザ発振器は出力2kWのファイバー レーザとした。

3.2 実験方法

レーザの照射条件を表2に、照射状況の模式 図を図1に示す。本実験は、試験台に供試体を 水平に設置し、DFS=100mmとし定点照射を 行った。散乱光測定に関しては、レーザの散 乱光によるカメラへの損害を防ぐため、フォ トディテクタ (T社製DET10A2)を供試体表 面より5mm高く設置し、距離30mmから照射 時の散乱光データを収集した。

4. 評価方法

(a) 詳細観察

レーザ照射した各種の石材の表面状態をマ イクロスコープ(K社製VHX-5000)で観察を 行った。評価項目は表面の状態、ガラス化の 有無とした。

(b)散乱光の強度

レーザ照射時に発生した散乱光をフォトデ ィテクタ (T社製DET10A2) で測定し、その データをオシロスコープでグラフ化、照射条 件ごとに考察した。

実験結果および考察

5.1 詳細観察

供試体の表面状況を表3に示す。以下に各表 面観察結果を示す。

(1) 花崗岩(500w)

表面状況は、照射時間1s~2sの場合は変化 がなく、照射前の状態と同様であった。3sか らは、照射部分の色が白くなり、微小な溶融 物が確認された。4s~5sでは溶融物がさらに 生成された。6s以降ではと黒色の溶融物以外 に透明なガラス層も確認された。また、溶融 物の周辺ひび割れが発生したことも確認され た。これは、既往の研究により、花崗岩の構 成鉱物の石英が花崗岩体積の20~60%を占め ると報告されている^D。石英は573℃以下の低 温型石英から573℃以上の高温型石英に転移 すると膨張する性質²があるので、膨張した際 の圧力によりひび割れが発生したと考える。 この性質より、照射された部分はひび割れが 発生し、中の黒雲母が表面に露呈し、表面に 水滴形状な溶融物を形成したと考える。

(2) 石灰岩(500w)

表面状況は、照射時間1sの場合、変化は確認できなかった。照射時間2sでは、照射された部分が薄く黒くなった。3s~5sでは、供試体表面が白くなったことが確認された。照射時間6s以降では白と黒が混在する状態となった。特に照射時間9sの供試体は一番変化した。

そのように変化した原因は式(1)に示すように、主成分であるCaCO₃が化学変化によりCa(OH)₂に変化したからであると考える。

 $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \cdot \cdot \cdot (1)$

Ca(OH)₂は一般的にCaCO₃よりも強い白色 であるため色の変化が起こった。また、既往 の研究により、石灰岩は750℃で20分以上加 熱すると白に変色する³ことが報告されている。 本実験では、照射時間4sと5sの供試体表面は







同じ現象が起こったため、その際レーザの温度は750℃で20分加熱したものと同様であると考えられる。

(3) 砂岩(500w)

表面状況は、他の材質の供試体と異なり、 レーザ光のビームウエストを円心に白、原色、 黒の3層の色の変化が確認された。また、照 射時間を長くするほど、各層の色が濃くなる ことが確認された。照射時間1sの供試体表面 は薄く白、原色、黒の3層に分かれたが、顕著 ではなかった。照射時間2sの供試体表面に確 認された3層のうち、中心の白色は大きくなり、 他の層も明確に見えるようになった。3s~5s の供試体表面は各層の色が明確に確認でき、 白の部分は光沢感を持てるようになったこと を把握した。特に照射時間5sの供試体表面は 最も明確だった。照射時間5s以降では、供試 体表面は特に現象などは見られなかった。既 往の研究では、加熱すると砂岩の色が少し濃 くなることが確認されているが、本実験では 白くなる傾向を示した。3その原因としてレー ザ照射された部分の温度が極めて高いことに より、ケイ素がガラス化していると考える。

(4)砂岩(1000w)

出力1000wで照射した結果、すべての供試 体表面ガラス化の発生を確認した。照射時間 1~3sの供試体表面は小さな泡状ガラス層が形



図6 砂岩の電圧変化(1000W)

成したことを確認した。ガラス泡の中は何も なく、空気で充填されていた。照射時間4s~ 6sの供試体表面は、レーザ光のビームウエス トにあった部分は平滑なガラス層になったこ とを確認した。

7s~10sは照射された部分全面ガラス層になったことを確認した。

砂岩の主成分ケイ素は熱を受けてガラス化 をする、本実験では熱量が砂岩のカラス化を 促進する要因であることを確認した。

5.2 散乱光の波形

(1) 花崗岩(500w)

オシロスコープで収集したデータにより、 1s~2sはグラフの変化があまりなく、グラフ はほぼ直線形であること確認した。3sのとき は顕著に変化が出た。照射時間4sからグラフ の散乱光の強度となる電圧の増加が顕著に確 認できた。

散乱光で観察した結果、詳細観察で見られ た4sから変化が始まるという同じ結果を示し たことによって、散乱光で花崗岩の表面の物 性変化を判断できるという結果を示した。ま た、その顕著に増加した原因に関しては、黒 雲母が溶融物として、表面に形成したと考え る。

(2) 石灰岩(500w)

石灰岩では、2sから波形の変化により表面 の物性変化が見られる。これは詳細観察で見 られた結果と同様であった。

石灰岩はガラス化が形成されなかったため、 散乱光の電圧の変化が緩やかであった。しか し、照射時間1sと2sの供試体の波形を比べて 見ると、変色が発生した時にも、散乱光の強 度が変わることが示された。

(3)砂岩(500w)

出力500wで砂岩に照射した場合、照射した 供試体表面の色変化が確認できた。また、砂 岩はガラス化が形成されなかったため、散乱 光の電圧の変化が緩やかであった。照射時間3 s~6sの電圧の変化では最も高くなる結果を示 した。

詳細観察の結果も含めて、電圧の変化が高いほど、表面の変色は激しいと考える。

(4) 砂岩(1000w)

出力1000wで照射した場合は、供試体表面 のガラス化状態を確認できた。1s~3sの波形 はほぼ同一なものを示した。ガラス化の形態 は変化していないが、照射時間が長くなるほ どガラス化が明確に見えることを確認した。 照射時間4sからは、全面にガラス層が形成さ れ、電圧の変化も激しかった。出力を変えて やった時間ごとに変化する結果も詳細観察し たものと同様であったため、散乱光で材料の 表面の物性変化を観測することが可能である と考える。

5.3 考察

本実験では、すべての供試体が散乱光の強 度で示した結果とマイクロスコープで観察し た結果が同様に変化を示したため、散乱光の 強度で材料の物性変化を確認できることがわ かった。また、電圧が高いほど材料の物性変 化が大きいという現象に関しては、現時点で は基礎研究段階のため、明確な要因は解明で きていない。エネルギー保存の法則の点から 考える。エネルギーが、ある形態から他の形 態へ変換する前後で、エネルギーの総量は常 に一定不変であるという法則³⁾ がある。本実 験では、石材はレーザからも与えたエネルギ ーをガラス化という現象で消費した。その反 応で消費したエネルギーは光として外部に放 出され、電圧の変化を起こしたと推測してい る。今後は、材料とエネルギーの観点から実 験を行う必要があると考えている。

6. まとめ

- 1. ケイ素を多く含有する石材はガラス化し やすい。
- 2. 本実験で実施した石材では、散乱光の強 度変化で材質の表面物性変化を確認でき る。
- 3. レーザ照射で起こった電圧変化の要因の 把握はこの研究の今後の課題である。

参考文献

- 1. Planetscope:岩石鉱物詳解図鑑,花崗岩 granite
- 木原 國昭:格子力学計算による石英の原子の異方性温度因子,日本結晶学会誌,1992,Vol34,No.294
- 宮 靖淇ら:異なる熱源による金属と石 材の表面変化に関する研究,永井研究室 卒業論文集,2021
- 4. デジタル大辞泉:エネルギー保存の法則
- 杉本 賢司ら:レーザー照射による大谷石 の表面改質に関する研究,1992, Vol.20 No.3 p.152-159
- 大石 嘉雄ら:レーザーによる固体物性の 測定,応用物理,1968,Vol.37,No.4,p. 361-371
- 久米 徹二ら: ラマン散乱分光を用いた高
 F 物 性 研 究,高 圧 力 の 科 学 と 技 術,2015,Vol.25,No.1,p.3-10
- 8. 播 磨弘: GaNおよび関連窒化物のラマン 散乱分光,「材料」(J. Soc. Mat. Sci., Japan), Vol.51, No.9, pp. 983-988, Sep. 2002
- 5% 正博ら:炭化ケイ素ウイスカー強 化結晶化ガラス複合材料の機械的性質, 日本セラミックス協会学術論文誌,97[8] 795-802 (1989)
- 10. 武内 寿久禰ら:北海道千歳鉱山付近の流 紋岩および凝灰岩中のガラス包有物につ いて,鉱山地質,No.22,p383~391,1972
- 11. ト部 吉庸:二酸化ケイ素の結晶構造に ついて,奈良県立畝傍高等学校教論
- 12. 葛西 篤也:鉄鋼用耐火物中の SiO2結晶の 高温相転移が耐火物特性に与える影響に 関する考察,京都工芸繊維大学